

激光安全手册

(美) 丹·伯曼 著
张曾 译

人民邮电出版社

激光安全手册

〔美〕 A. 马洛 著

刘 普 和 译

人 民 卫 生 出 版 社

内 容 简 介

这本《激光安全手册》共 15 章，附加三个有份量的附录，对激光安全作了比较全面的介绍。为了保证激光器的安全使用；即为了防御激光危害和防御与激光器有关的危害，本书着重介绍了三个方面：激光器操作人员必须采取的一些防护措施；激光器制造厂必须遵循的一些硬性规定；以及可能接触到激光的广大群众应具备的一些基本知识。本书内容浅显易懂，适于激光器操作人员和制造人员、激光专业的学生以及对激光安全有兴趣的人阅读。

Laser Safety Handbook

Alex Mallow

Leon Chabot

Van Nostrand Reinhold Company, 1978.

激光安全手册

〔美〕A. 马洛 著

刘 普 和 译

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里 10 号)

河北省固安县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米32开本 10.5印张 4插页 230千字

1984年7月第1版 1984年7月第1版第1次印刷

印数：00,001—5,900

统一书号：14048·4624 定价：1.45元

〔科技新书目 68 — 48 〕

序

迄今，有关激光安全的资料只散见于众多的各种各样的期刊、小册子和单行本。为了适当地描述这一课题，本手册的目的是把大量和激光安全有关的、各种各样的资料，收集起来，加以整理，编纂成册。

本手册的内容分为下述几个方面：

第一章到第五章介绍激光束的危害以及和激光器有关的危害。描述了激光的生物效应。对激光器理论作了简化处理，删除了复杂的数学和概念，但以不损害对后继材料的深入理解和正确评价为度。对激光参数的测量也作了同样的处理，即不那么强调激光安全中用到的诸测量技术和要求。

第六章透彻地描述了防护标准，包括束内直视和眺望扩展光源的情况。提供了激光束照射人眼和皮肤时的最大许可照射量。也包括对这些标准的校正因子以及对复杂发射变化的特殊处理技术，还附上了习题和解答。

第七章和第八章包括对激光束危害的评价和分级技术以及对危害的控制方法。至于对和激光器有关的危害，第九章将讨论对它们的控制。

联邦和各州关于激光安全的公法，将在第十章作既有广度又有深度的描述。

激光安全方案，就其作用来说，实属危害控制的一部分，但还是作了单章(第十一章)描述，讨论包括了训练计划的几个方面。作为一种支流，在第十二章讨论了教室的安全，重点放在教室激光演示和做激光实验时的安全防护方面。

无疑的，适当的医务监督计划以及适宜的激光防护眼罩都是激光防护方案不可缺少的组成部分，它们分别是第十三章和十四章的内容。

第十五章探索了激光束对大气作用的几个方面。

附录甲概括地提出了广泛的定义和激光器的术语，这些无论从激光器的观点还是从激光安全的观点都是重要的。

附录乙包括一份纽约州工业法典有关“激光器”的第 50 条法规的全文，之所以这样做，为的是在阅读第十章“公法”涉及有关文件时便于检索其说明。

最后，附录丙取自放射卫生局的“按照联邦法规全书 1002·10 到 1002·12 节呈报激光器和含有激光器的产品的资料时的指南”，详细说明了激光器制造商在报告激光器产品时所必须遵循的途径。

鸣谢

本手册下述图表，即表 5-1, 5-2, 6-1 到 6-4, 图 6-4 到 6-13, 系得到美国国家标准协会 (ANSI) 同意后，取自该协会于 1976 年出版的“美国关于激光器安全使用的国家标准 Z 136·1-1976”。这种单行本可直接从该协会 (纽约宽街 1430 号) 购买。还应感谢格鲁曼宇航公司，因该公司给作者们提供了探索激光器安全的机会，即把这种机会看作是他们执行 A-6E TRAM 飞行计划的职责的一部分。最后，要衷心感谢 M. Mallow 夫人，因她用了大量时间打字和校对本手册。

A. Mallow

L. Chabot

译 者 的 话

《激光安全手册》一书，是为一般专业人员编写的。目的不但是使他们能看懂这本书的内容，而且也能照着去做，从而取得使用激光器时的安全。激光器制造者，若能按照手册中的要求去做，就能给使用者提供比较安全的激光仪器。

凡是稍微难懂的词汇（如克尔盒、布氏窗、附随辐射、非线性效应等等），可查阅附录甲（激光词汇浅释）。手册中所用的数学公式，具有中学数理水平的人一般都可以自行推导。而且所提出的公式大都附有例题，加深对公式的理解。

作为一本安全手册，在内容上理应相当全面，这不难由目录看出。为了激光器的安全使用，书中不仅对激光器的操作人员提出了必须采取的一些防护措施，也介绍了美国联邦政府和州政府对激光器制造厂就激光安全防护方面所作出的一些硬性规定。此外，随着激光器使用的日益广泛，接触激光的人也日益增多，为了保护广大人民群众不受激光的危害，本书也介绍了在防护上的一些基本要求（美国的相应防护方案尚在制订中）。

本书除了描述激光对人体的危害及其控制措施外，还详细讨论了与激光器有关的危害（第四章），如电危害、气载污染物、低温液体等8种危害。并在第九章中对这8种危害的预防和控制作了较全面的说明。一句话，凡是与激光安全有关的问题，本书都提出了防御措施方面的知识。

我国有些单位正在进行我国激光防护标准的研究，这本手册的翻译出版，也许对这项研究是有参考价值的。限于业务和外文水平，不妥之处，在所难免，希读者指正。

刘 普 和

目 录

序	〔7〕
第一章 激光器安全及危害简介	1
一、为何担忧?	1
二、人眼和皮肤受照射时的防护标准	1
三、激光器危害的评价和控制	2
四、小结	3
第二章 激光器的基础	4
一、绪言	4
二、电子能级	4
三、自发辐射和受激辐射	5
四、激光器的主要元件	6
五、连续型和脉冲型激光器	8
六、Q 开关	9
七、激光器的特性	9
参考文献	10
第三章 激光的生物效应	11
一、绪言	11
二、眼球的结构	11
三、组织损害机制	13
四、对组织损伤起作用的诸因素	15
五、对眼的危害	19
六、对皮肤的危害	19
参考文献	21
第四章 与激光器有关的危害	23
一、绪言	23

二、电危害	23
三、气载污染物	27
四、低温液体	28
五、噪声危害	30
六、电离辐射	30
七、非激光束的光辐射危害	30
八、爆炸危害	30
九、火灾	31
参考文献	31
第五章 激光参数的测量	33
一、绪言	33
二、激光器输出能量和功率	33
三、激光脉冲宽度	38
四、辐照度和辐射照射量	40
五、光束分布	41
六、光束发散度	45
七、脉冲重复率	45
八、几种测量装置举例	45
参考文献	46
第六章 防护标准	48
一、绪言	48
二、关于束内和扩展光源照射时应考虑的诸因素	49
三、束内观察时的最大许可照射量	53
四、观察扩展光源时的最大许可照射量	59
五、激光束照射皮肤时的最大许可照射量	65
六、可见和近红外激光 MPE 校正因子和特殊处理技 术	66
七、重复脉冲激光器的 MPE 的测定	69
八、红外激光的 MPE 的校正因子	69

九、在评价激光器的各种应用时会用到的公式、例题及应考虑的因素	82
参考文献	89
第七章 激光束危害的评价和分级	90
一、绪言	90
二、激光器分级应考虑的因素	90
三、各级激光器的定义	92
四、光束的中央辐照度或辐射照射量	98
五、关于激光器分级的例题	99
六、激光器所在的环境	103
七、激光器所在环境中的现场人员	105
参考文献	106
第八章 对激光危害的控制	107
一、绪言	107
二、对第一级——豁免级激光器的控制措施	109
三、对第二级——低功率激光器的控制措施	109
四、对第三级——中等功率激光器的控制措施	110
五、对第四级——高功率激光器的控制措施	117
六、对第五级——封闭式激光器的控制措施	120
七、对红外激光器的特殊控制措施	121
八、对紫外激光器的特殊控制措施	122
九、对野外和机载激光器的控制措施	122
十、激光防护眼罩	128
十一、警告牌和标记	128
十二、激光器输出功率或工作特性的改变	129
参考文献	129
第九章 控制与激光器有关的危害	131
一、对电危害的控制	131
二、对气载污染物的控制	136

三、对低温液体危害的控制	137
四、对噪声危害的控制	138
五、对电离辐射危害的控制	138
六、对非激光的光辐射危害的控制	138
七、对爆炸危害的控制	139
八、对火灾危害的控制	139
参考文献	139
第十章 公法	142
一、绪言	142
二、联邦的激光安全立法	142
三、州的激光安全立法	186
参考文献	213
第十一章 激光安全方案的管理	215
一、绪言	215
二、编制管理激光安全方案的一般指南	216
三、激光安全训练方案	223
四、训练方案的声、光资料	223
参考文献	227
第十二章 激光器在教室里的安全使用	229
一、绪言	229
二、安全设备	230
参考文献	234
第十三章 医务监督	235
一、绪言	235
二、冒险人员的分级	236
三、对人眼的各种检查	236
四、对皮肤的监督内容	238
五、推荐的医学检查内容	240
六、医学检查的频数	240

参考文献	241
第十四章 防御激光眼罩	242
一、绪言	242
二、挑选防御激光眼罩的诸因素	242
三、眼罩的标识	256
四、眼罩的检查	256
五、防御眼罩的类型	257
六、制造厂的责任	257
七、宽带防御眼罩的研制	259
参考文献	259
第十五章 大气效应	261
一、绪言	261
二、大气的一般效应	261
三、基本公式	263
四、镜式反射	266
五、漫反射	267
参考文献	268
附录甲 激光词汇浅释	270
附录乙 纽约州工业法典第 50 条法规“激光器”	294
附录丙 可接触激光的级别	320

第一章 激光器安全及危害简介

自从15年前发明激光器以来，已涌现出一门朝气蓬勃的工业。激光器在科学上、工程上、和工业上已得到大量的应用，如外科、建筑业、材料加工、机器加工、核聚变实验、辨认包裹的编码标记的扫描器以及其他等等应用。激光器在军事上的应用自不用说了，就是在通讯方面也日益用上了激光器，以探索它能携带大量信息的巨大潜力。

一、为何担忧？

激光器危险，因其光束太亮。首当其冲的是人眼，因其聚焦本领会使达到眼底的光强增大好几万倍。在所用激光器强度日益增大的情况下，对皮肤的损害也不要掉以轻心。

除激光束本身的危害以外，工作于激光器系统时，象任何其他技术的或工业的过程一样，也会遇到一些有关的潜在危害。一个有关的主要危害是电击，很可能因电击而发生的意外事故比激光束的还多。和激光器有关的其他危害包括气载污染物、电离辐射、激光以外的其他光辐射、噪声等等。

二、人眼和皮肤受照射时的防护标准

认识到激光束的潜在危害，对该危害的适当控制使之有必要制订防护标准，这标准对人眼和皮肤许可受到的照射量提供了判断的根据。这样一些标准（民间的和政府法令）已渐次形成，基础是可能得到的实验研究的资料。这些标准有时称为最大许可照射量（maximum permissible expo-

sure, MPE) 水平。

MPE 的测定有时相当复杂，如下述情况就是：一个激光器同时发射许多波长相差很大的谱线或在连续 (CW) 背景上附加一些脉冲。

三、激光器危害的评价和控制

在考虑激光器危害的控制之前，最好先对激光器危害进行全面地评价。此外，要全面地评价危害，就必须顾及激光器危害的各个方面（如电击等），而不只是激光束危害。一个由适当组织施行的激光安全方案，加上必要的安全训练，就能大大地减少风险。

激光束危害的评价限于下述三种关键性的情况：

- 利用激光束相对危害的标准化的分级（如一级到四级），告诉全体人员激光束危害的可能性。
- 激光器的环境。
- 在激光器环境中的全体人员。

上述后两项，不同于第一项，不能给自己提供标准化的门径，因为能够使用激光器的环境太多，以及全体人员受激光束影响的情况也太多。

激光束危害的控制措施受到所用激光器级别的强烈影响。显然，第四级高功率激光器比级别较低的、功率小些的激光器，应受到最严格的控制措施。需要在经验和判断之间作出精心的权衡，以在工程控制、程序管理及其他控制之间取得平衡，其目的是既适当地保护了全体人员，又没有平白无故地束缚他们的手脚，后一种可能性是确确实实存在着的。

四、小结

以后的各章和附录将非常详尽地说明，上述有关激光安全的各关键性方面。如已说明，MPE 的测定可能复杂化，激光器的分级也一样。所以，在认为特别有用之处，提出了一些习题和解答，以帮助读者更好地理解和应用安全判据和法则。

第二章 激光器的基础

一、绪言

激光器 (LASER) 的五个英文字母是“光受激辐射放大器” (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) 的英文原文各取第一个字母组成。

激光器所发射的光截然不同于寻常光，这种光具有的特色是用其他光源多半得不到的。

光由原子的内部作用而产生，这些内部作用中的一种特殊形式产生了激光。为了简化，假设原子包含一个小而稠密的核以及绕核运动的一个或多个电子。

二、电子能级

诸电子相对其核只能处于某些确定的能级，在通常情况下它们处于基态，即处于最低能级。诸电子通过吸收能量，能跃迁到较高能级；并且通过发射能量，跃迁到较低的空级。图 2-1 表示一个电子跃迁到一个能量相差 ΔE 的较低能级， ΔE 就以一个光子的形式发射出去。

当电子从某些可能来源之一吸收能量时，就发生了向上跃迁。对于激光器的工作，有两种供能形式是极其重要的。一个光子的能量可以转移到一个轨道电子，于是该电子将跃迁到一个较高的或“受激”能级。原子的量子性质要求：电子只能吸取某一确定的能量值，才能由一个许可的能级跃迁到另一级。

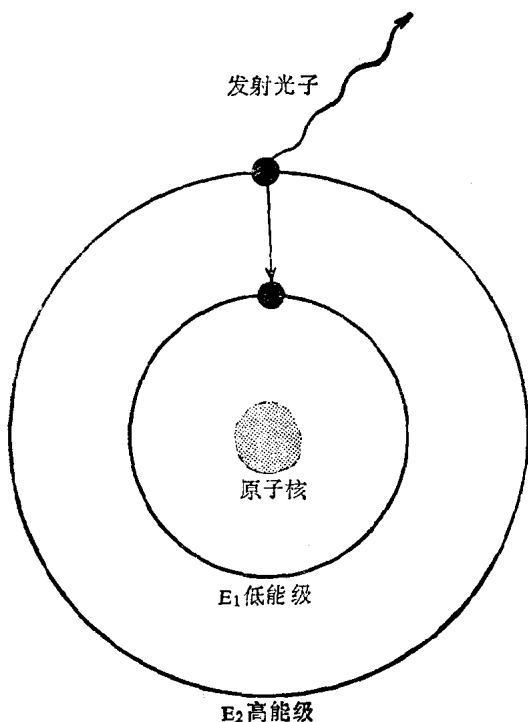


图 2-1 电子由高能级跃迁到低能级,并发射一个光子

放电是用于激发电子的第二种主要技术。此时是通过在电场中运动着的诸电子的碰撞而转移能量。无论是用光子还是用放电技术,当一个原子受激时,就有一个电子跃迁到较高的能级。

三、自发辐射和受激辐射

原子总是趋于返回最低能态,结果是,处于较高能级的受激电子迟早会回到较低能级。典型地,一个电子通过自发

辐射一个光子，失去了其激励能，而返回较低的轨道。光子的能量一定是等于受激能级和较低能级两者间的能量差。所释放光子的频率和能量差的关系由下式给出

$$E = hf$$

式中 E 是两能级的能量差，即光子的能量， h 是普朗克常数， f 是频率。提一下大家知道的公式 $f = c/\lambda$ ， c 是光速， λ 是波长。随着激光器类型的不同，其输出波长在0.2微米到1毫米之间。

由受激原子释放出的光子，在和另一个同样受激原子相互作用时，该原子将有一个电子回到较低能级，并释放一个光子，这过程叫做**受激辐射**。第二个光子的频率、能量、方向和位相跟第一个光子的一样。第一个光子将继续沿着原来路径前进，但伴有第二个光子。现在这两个光子将通过受激辐射过程使更多的原子由激发态回到较低能级。

对于自发辐射，诸受激原子是无规则地回到较低能级的，因而朝各个方向输出的光是或多或少地相等的。与之比较，受激辐射只增加沿特定方向运动的光子数。诚然，只要在光学腔的两端，放置高度反射的面镜，就能确立预先选定的方向。那些运动方向不垂直于面镜的光子将逸出腔外，而那些沿两面镜轴线运动的光子数因来回受激辐射而增大，即沿预定路径行进的光子数大大增加，或者说发生了光子数很大的放大。要得到有效的放大，有必要建立所谓粒子数反转的状态。当**受激到高能级的电子数多于停留在正常较低能级的电子数时，就出现了粒子数反转。**

四、激光器的主要元件

上述讨论已指出激光器的三种主要元件：第一种是能够